

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 25, No. 3, 2005

# 태양에너지를 이용한 열-전기 동시생산을 위한 PV-Solarwall 단위모듈 성능평가 연구

김용환\*, 조일식\*\*, 이의준\*\*, 현명택\*, 강은철\*\*

\*제주대학교 (yhkim@kier.re.kr, mthyun@cheju.ac.kr).

\*\*한국에너지기술연구원(yscho@kier.re.kr, ejlee@kier.re.kr, kec8008@kier.re.kr)

## The Performance Evaluation Study of PV-Solarwall Unit Module Solar Thermal-Electric Energy

Kim, Yong-Hwan\*, Cho, Yil-Sik\*\*, Lee, Euy-Joon\*\*,  
Hyun, Myung-Taek\*, Kang, Eun Chul\*\*

\*Dept. of Mechanical Eng, Cheju National University(yhkim@kier.re.kr, mthyun@cheju.ac.kr).

\*\*Korea Institute of Energy Research (yscho@kier.re.kr, ejlee@kier.re.kr, kec8008@kier.re.kr)

### Abstract

---

The PV-Solarwall system has been introduced as a promising alternative to harness solar energy for both heating applications and electricity generation simultaneously. The system comprises a PV solar panel(for electricity generation). In addition, the solarwall incorporates a fan strategically located behind the PV panel to bring the warm and fresh air from the solarwall into the room. Because of its location and convective cooling principle, the fan also serves to reduce the operating temperature of the PV panel thereby increasing its efficiency. So this PV-Solarwall system holds much promise for saving heating and electricity costs compared with a PV system without solarwall. In particular, by controlling the tilt angle of the entire PV-Solarwall system between 0°(horizontal) and 90°(vertical), the performance of the system can be further evaluated. It is expected that the range of tilt angle PV-Solarwall between 40° and 50° will improve the output of the system.

**Keywords** : 태양광발전모듈(PV), 솔라월(Solarwall), 태양열광 복합생산 시스템(PV-Solarwall)

---

## 기 호 설 명

- $C_{p,air}$  : 공기 정압비열(J/kg°C)
- $T_{out}$  : 공기층 출구온도(°C)
- $T_{\infty}$  : 외기유입공기 온도(°C)
- $A$  : Solarwall 집열기 면적(m<sup>2</sup>)
- $I_T$  : 태양 복사 조사플럭스(W/m<sup>2</sup>)
- $m_{air}$  : 유입공기 유량(kg/s)

## 1. 서 론

대체에너지는 초기투자 비용이 고가인 점에도 불구하고 화석에너지의 고갈문제 및 환경문제와 맞물려 현재의 에너지 문제에 대한 핵심 해결방안이라는 점에서 선진 각국에서는 대체에너지에 대한 과감한 연구개발과 보급정책 등을 추진해 오고 있다. 최근 국제적으로는 기후협약과 관련해서 각 나라는 자발적인 온실 가스 자체 저감 계획을 확보해 가고 있으며, 이러한 국가간 탄소 배출량 제한 현안 문제의 근본적인 해결을 위해서는 청정 대체에너지 기술을 보완 적용 응용 보급 할 수 있는 연구 의지 및 체계가 절실히 필요한 상황이다. 이에 우리 정부에서는 대체에너지 개발 및 이용 보급 촉진법 제 5조 "연차 시행 계획"에 따라 대체에너지 분야에 대한 지속적인 투자를 통해 2006년까지 총에너지 수요의 3%를 대체에너지로 공급하고 2011년에는 이 비율을 5%까지 끌어 올릴 방침을 세우고 있다.

현재 국내에서 소비되는 총 에너지 소비량 중 건물분야 소비에너지는 약 25%로 매년 그 비율이 증가되고 있다. 이중 전기에너지의 구성비는 주거 건물 경우 12%, 상업용 건물의 경우 41%를 차지하고 있으며 그 비율은 사무기기의 보급화로 급증세를 보이고 있다. 또한 주거건물의 경우 총 주거 건물 소비에너지 중 약 45% 정도가 난방에너지로 소요되고 있다. 이러한 연유로 이미 선진국 일부에선 전기에너지와 열에너지를 동시에 절약하고 환경

친화적 건물에 대한 요구에 부응할 수 있는 전기/열(PV/T) 복합 응용 기술을 개발 보급 중에 있다. 국내에서도 이미 PV 시장은 빠르게 성장하고 있으나 초기 투자비가 워낙 비싸기 때문에 경제성 부분의 보완이 절실한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 솔라월(Solarwall)<sup>1)</sup> 위에 PV를 설치함으로써 솔라월의 주기능인 난방에너지 절감 및 신선외기 유입을 통한 실내공기질 개선 효과를 기대함과 동시에 기존 PV의 발전 성능 향상을 목적으로 한 PV-Solarwall 통합 모듈을 제시하여 기존 PV 모듈 대비 개선된 PV-Solarwall 모듈에서의 전력 생산에 대한 성능 평가 연구를 수행하고자 한다.

## 2. 시스템 개요 및 작동 원리

### 2.1 시스템 개요

PV에서 전기를 생산하는데 영향을 미치는 요인은 일사량, PV 설치 경사각, 방향, 음영, PV 모듈 온도 등 다양하게 작용한다. 이 중 PV 경사각, 방향, 음영 등은 PV 시스템 설치시 미리 정해지고, 일사량은 태양추적이 불가능하다면 설치 지역의 일사조건에 영향을 받는다. PV 모듈의 특성은 일사량이 증가할수록 전력 생산량은 비례하여 증가<sup>2)</sup>하는 반면, PV 모듈의 표면온도가 증가할수록 발전량은 1°C당 발전성능의 0.4-0.6%정도 감소하여 나타난다. 따라서 PV 모듈온도를 강제적으로 낮춰줌으로써 PV 모듈의 성능을 향상시킬 수 있다. PV-Solarwall 통합 시스템은 건물 외벽이나 지붕위에 Solarwall 패널을 설치하고 그 위에 다시 PV 패널을 설치함으로써, 태양에너지로부터 전기와 열을 동시에 생산할 수 있는 태양광열 복합 생산 기술이다. PV 패널의 전력생산량은 PV 패널 표면온도와 밀접한 관계가 있으며, 표면온도가 높을수록 전력생산량은 비례하여 감소하는 특징이 있다. 본 과제에서 소개되는 PV-Solarwall 복합 시스템은 PV 패널 후면에 Solarwall 패널을 건물 외벽과 일정 간격을 두고 설치하여 건물

외벽과 Solarwall 사이에 형성되는 공기층의 온도가 PV-Solarwall에 의해 일정온도 이상 상승하면 팬을 가동시켜 고온의 공기를 실내로 유입시켜 실내난방에 활용함과 동시에 PV 모듈의 온도를 상대적으로 낮춰줌으로써 전력생산량을 증가시킨다.

## 2.2 PV-Solarwall 시스템의 작동원리

PV-Solarwall 시스템의 작동원리는 그림 1에서 보는바와 같이 PV-Solarwall 모듈 표면에 태양복사에너지가 도달하여 PV 패널에서는 전기를 생산하고 Solarwall에서는 열을 생산하게 된다. Solarwall과 벽체 사이에 형성된 공기층은 PV 패널과 흡수율이 뛰어난 Solarwall 모듈에 의해 고온의 상태를 형성하게 되고, 공기층의 온도가 일정온도 이상 상승하게 되면 Fan을 가동시킴으로써 고온의 신선외기를 실내로 유입시켜 실내환기량을 충족시킴과 더불어 실내공기질을 개선시킨다.<sup>3)</sup> 그리고 Fan이 가동함과 동시에 고온의 공기가 실내 또는 외부로 배출됨으로서 Solarwall에 설치된 PV 패널의 온도를 낮춰주기 때문에 PV 발전효율 향상도 기대할 수 있다.

## 3. PV-Solarwall 시스템 실험장치 구현

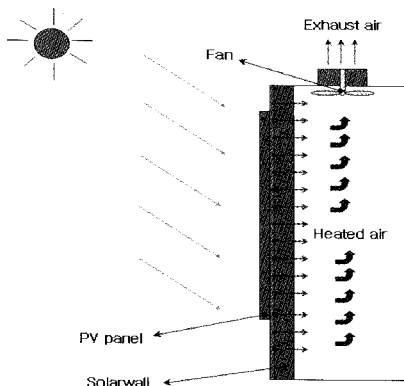


그림 1. PV-Solarwall 시스템 작동 원리

그림 2는 PV-Solarwall 성능을 평가하기 위해

제작된 실험 장치로서 동일한 건물에 한쪽은 일반 벽체에 PV 패널을 설치하였고, 다른 한쪽은 높은 흡수율을 가지는 Solarwall위에 PV 패널을 설치하였다. PV-Solarwall이 설치된 실험 장치 상부에는 공기층의 고온의 공기를 실내 또는 실외로 배출시킬 수 있도록 팬을 설치하였다.

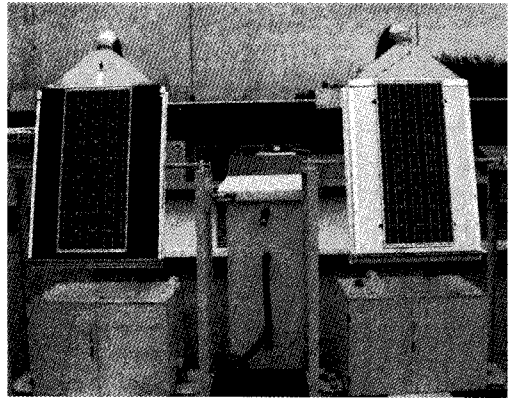


그림 2. PV-Solarwall 실험 장치

## 3.1 PV단위모듈

본 연구에서 사용된 PV단위모듈은 최대출력 80W급으로써, 일사조건 1000W/m<sup>2</sup>, PV 표면온도 25°C인 STC(Standard Testing Condition) 조건하에서 성능 평가를 수행하였다. 그림 3은 본 연구에 사용된 PV모듈 성능평가서이다. PV모듈의 세부적인 사양은 표 1에 나타내었다.

표 1. PV모듈 사양

최대출력	80W
최대전압	17.5V
최대전류	4.65A
최소 보증출력	75W
단락전류	5.15A
개방전압	21.8V
단락전류시 온도계수	(0.065±0.015)%/°C
개방전압시 온도계수	-(80±10)mV/°C
전력 온도계수	-(0.5±0.05)%/°C
크기	6482mm3 (W×H×D)
무게	7.7kg

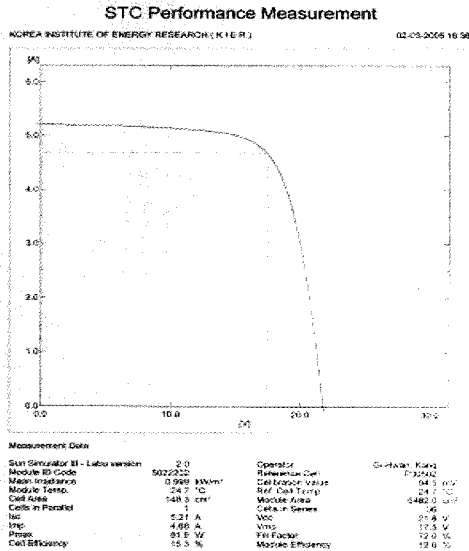


그림 3. 80W급 PV모듈 성능 평가서

### 3.2 Solarwall

본 실험에서 사용한 Solarwall은 그림 4에 나와 있는 갈색계열의 Solarwall로 흡수율이 뛰어난 금속판의 미세구멍을 통해 외기를 도입하여 집열을 하는 공기식 집열기이다. 유속에 따라 기존 외기보다 최대 30°C까지 공기온도를 상승시킬 수 있으며, 저가형으로 집열효율이 최대 75% 이상 기대된다.<sup>4)</sup>

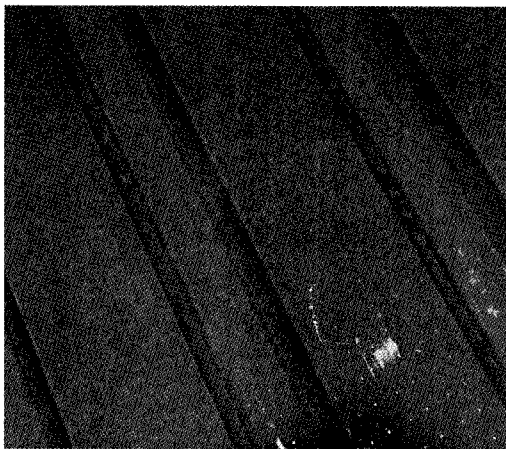


그림 4. 태양기공 집열기 모듈

표 2. Solarwall 모듈 사양

집열기 재질	알루미늄 스틸
집열기 형상	사다리꼴
집열기 두께	0.8 mm
집열기 색상	짙은 갈색
집열기 전도율	64W/mK
집열기 흡수율	93%
집열기 방사율	89%
기공 형상	슬릿
기공 직경	1.65 mm
기공 피치	20 mm
기공율	1 %

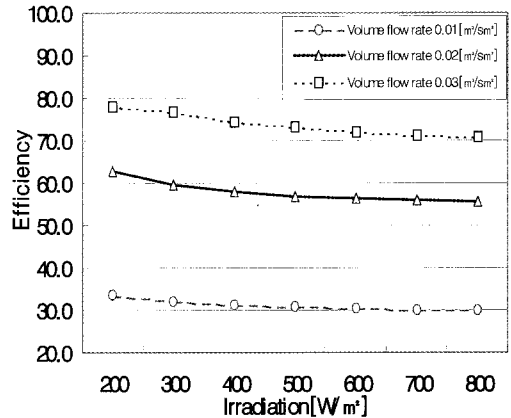


그림 5. 작동유량에 따른 Solarwall 모듈 효율 선도

유량변화와 시간변화에 따른 집열 모듈의 효율을 그림 5에 나타내었다. 실험 결과 집열 모듈은 외기변화에 따라 약간의 차이는 있었지만 평균적으로 거의 동일한 효율을 보여주고 있다. 공기의 정압비열은 온도에 따라 다르지만 상온에서는 그 차이가 거의 없으므로 동일한 값을 지닌다고 가정하여 집열 모듈 효율을 산출하였다.<sup>5)</sup> 유입유량에 따른 집열 모듈 효율( $\eta_{sol}$ )은 외기유입유량, 정압비열, 외기 및 공기층 온도차, 집열면적 및 태양복사 조사플럭스율의 함수로 표현되며 LabVIEW 6i DAQ 데이터 수집 장치의 데이터 정규화 통계 처리를 통하여 산출된 데이터로부터 식(1)의 형

대로 산출하였다.<sup>6)</sup>

$$\eta_{sol} = \frac{\dot{m} c_p (T_{outlet} - T_{ambient})}{A I_T}$$

(식-1)

### 3.3 측정센서 및 위치

일사량, 온도, 시간대 변화에 따른 태양전지모듈의 출력특성변화를 비교 측정할 수 있도록 그림 6과 같이 온도센서와 일사량계를 배치하였고, Fan에 의한 공급유량을 약 70m<sup>3</sup>/hr로 작동시켰다. Solarwall의 작동유량은 Solarwall의 기공을 통해 들어오는 전체유량을 집열판 면적으로 나눈 것으로, 공기접근속도(Approach Velocity) 0.02m<sup>3</sup>/s·m<sup>2</sup>의 범위로 설정하였다.<sup>5)</sup>

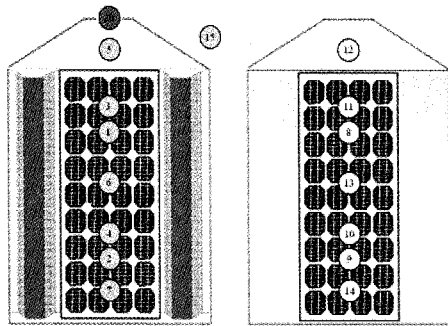


그림 6. PV-Solarwall 시스템 센서 위치

### 3.4 모니터링 장치

온도센서와 일사량계에서 얻어지는 데이터는 Agilent 34970A 데이터 획득기를 통해 데이터를 수집하고 이 데이터 획득기와 컴퓨터간 시리얼 통신을 통해 열부하량과 PV 전력 생산량을 실시간으로 측정하여 1분 간격으로 자동 저장되게 하였다.

## 4. 실험결과 및 분석

### 3.1 실험결과 비교

본 실험은 기존의 PV시스템과 달리 PV와 Solarwall을 통합한 시스템으로, 연평균 가장 많은 일사량을 얻을 수 있는 40°~50° 사이의 경사에 5°간격으로 변화를 주어 실험을 하였다.

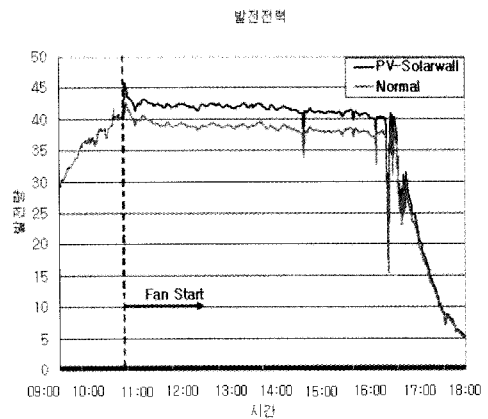
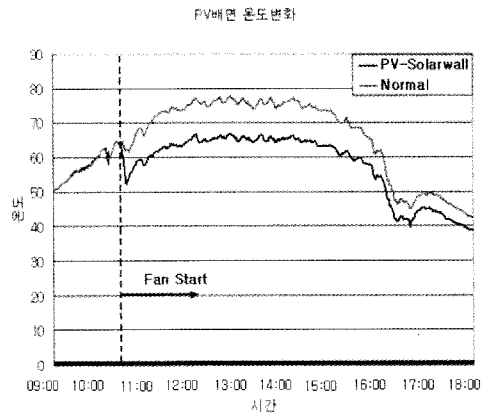


그림 7. 경사각이 40°일 때의 PV배면 온도변화와 발전전력 (2005. 8. 5)

실험은 외기풍속이 평균 1.5~2m/s 상태의 비교적 잔잔한 날을 선정하여 수행하였으며, 오전 11시경을 기준으로 Fan을 작동하여 PV 패널 배면 온도변화와 그에 따른 PV 성능향상, Solarwall내 공기층온도 변화를 검토 하였다.

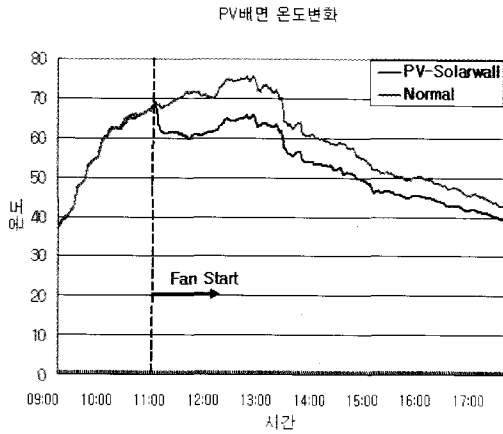


그림 8. 경사각이 45°일 때의 PV배면 온도변화와 발전전력 (2005. 7. 21)

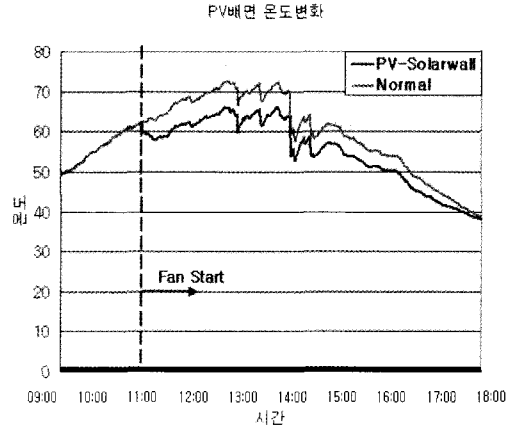


그림 9. 경사각이 50°일 때의 PV배면 온도변화와 발전전력 (2005. 7. 22)

그림 7, 그림 8, 그림 9에 나타난 실험 결과에서 알 수 있듯이, PV-Solarwall 시스템의 Fan이 가동되어 고온의 공기층이 흡입되는 11시를 기준으로 PV 배면온도가 급강하하여 최고 10°C 이상의 온도차를 보여주고 있음을 알 수 있었고 이러한 PV 배면온도 감소는 PV의 온도를 낮추어 발전전력량의 증가를 가져옴을 확인할 수 있었다. 실제로 약 10°C 온도차를 보이는 시간에서는 발전전력량이 최대 3W 이상의 증가를 나타내었으며, 그림에서 알 수 있듯이 전반적으로 Fan의 가동에 따른 PV 배면온도 변화와 그에 따른 PV 발전전력량은 반비례하여 나타남을 알 수 있었다.

표 3. 고도각 변화에 따른 PV-Solarwall 시스템에서의 발전성능 변화량(12-13시 기준)

고도각	평균 온도차	기준 발전량	평균 전력차	발전성능 향상
40°	9.6°C	38.9W	3.2W	8.2%
45°	9.7°C	39W	2.9W	7.4%
50°	8.4°C	38.8W	3.0W	7.7%

표 3은 실험 데이터를 기준으로 고도각 변화에 따른 PV-Solarwall 시스템에서의 발전성능 변화를 보여주고 있다. 데이터는 실험시간 12-13시를 기준으로 분석하였으며, 기준 PV 대비 개선형 PV-Solarwall 모듈에서의 PV 배면온도차 평균

치와 기준 PV 패널에서의 발전전력 생산량 및 PV-Solarwall 모듈에서의 향상된 평균 전력차를 분석하였다. 실험 분석 결과 PV-Solarwall 모듈을 적용함으로써 PV 배면온도를 약 8-10°C 낮출 수 있었으며, 그로 인하여 PV의 발전성능을 약 7-8% 가량 향상시킬 수 있었다.

## 5. 결 론

본 연구에서 소개한 PV-Solarwall 기술은 기존에 Solarwall이 가지고 있는 장점인 실내환기량 증축 및 공기질 개선 효과는 물론 겨울철 실내 난방부하 저감을 기대할 수 있을 뿐만 아니라 기존 PV시스템의 발전 성능 향상을 기대할 수 있는 복합 에너지 절약 시스템이다.

본 연구에서는 PV와 Solarwall을 이용하여 태양에너지로부터 전기와 열을 동시에 생산할 수 있는 PV-Solarwall 단위모듈을 개발하였으며, 국내에서 연평균 최적의 평균일사량을 기대할 수 있는 태양고도인 40°~50°의 범위를 기준으로 PV-Solarwall시스템에서의 PV 배면온도 변화에 따른 발전 성능 변화에 관한 연구를 수행하였다.

그 결과 실험한 날의 날씨와 계절적 영향에 의해 일사량에 약간의 차이는 있긴 하나 일사량 800W/m<sup>2</sup>를 기준으로 할 때 PV-Solarwall 시스템의 실내온도는 일반벽체를 사용한 건물에 비해 PV 배면온도는 일반시스템과 비교하여 평균

8~10°C 정도의 온도를 감소시켰고 그에 따른 PV성능도 2~3W가 향상됨을 알 수 있었다.

따라서 본 연구는 기존 PV시스템의 가장 큰 현안인 경제성 문제를 해결할 수 있는 좋은 대안이라 할 수 있으며, 본 연구를 통해서 국내 태양열 광 복합 기술인 PVT 기술과 관련하여 PV에 Solarwall를 통합한 새로운 형태의 기술을 제시하였다.

## 참 고 문 헌

1. 박준연, 2002, "무창 기공 집열기 단위 모듈 및 태양열 공기 가열 시스템의 열 성능 평가 방안과 모델 개발", 석사학위논문, 영남대학교
2. 산업자원부 보고서, 2004, "건물통합형 태양광 발전(BIPV)시스템의 최적화 기법 개발"
3. 이의준, 2001, "공간 에너지 절약형 태양열 공기 집열 UTC 팬-덕트 공조 시스템 개발에 관한 연차중간보고서", 산업자원부.
4. 강은철, 2002, "태양열 신선외기 난방시스템의 열성능 평가에 관한 연구", 석사학위논문, 제주대학교 대학원.
5. 강동언, 2000, "태양열 공기난방 건축외장판넬 시스템의 열성능 분석에 관한 연구", 석사학위논문, 제주대학교 대학원.
6. 이택식, 이재현, 이준식, 1993, "열전달", 희중당, p. 740.